

## Устройство защиты кровельных покрытий эксплуатируемых зданий для южных климатических регионов

УДК 684.1

### Барабанова Татьяна Алексеевна

К.т.н., доцент кафедры «Жилищно-коммунального комплекса», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва);  
e-mail: barabanovata@mgsu.ru

### Король Роман Анатольевич

К.э.н., доцент кафедры «Технологии, организации, экономики строительства и управления недвижимостью», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар)

### Доможилов Виктор Юрьевич

Старший преподаватель кафедры «Жилищно-коммунального комплекса», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва)

**Аннотация.** В статье рассмотрены конструктивно-технологические решения защиты кровельных покрытий эксплуатируемых зданий в условиях высоких природно-климатических температурных воздействий. Их применение способствует созданию комфортных условий для проживания в помещениях верхних этажей, как в летний, так и зимний период. В течении длительного периода эксплуатации возникает проблема сохранения физико-механических характеристик ограждающих конструкций в соответствии с установленными проектными требованиями. Их изменения могут быть вызваны возникающими сезонными перепадами температур, что влечет за собой изменение параметров микроклимата в помещении. Устройство защитных конструктивно-технологических элементов и мероприятий препятствует нарушению условий нормальной эксплуатации помещений верхних этажей зданий.

**Ключевые слова:** жилые здания, тепловые нагрузки, солнцезащитные экраны, тепловой баланс, термическое сопротивление покрытия, естественная охлаждающая вентиляция

### Введение

В южных районах страны крыши эксплуатируемых зданий находятся под влиянием значительно более высоких тепловых нагрузок, чем стены, поэтому температура воздуха в помещениях верхнего этажа, как правило, в среднем на 3–5 выше. Вследствие этого при проектировании крыш жилых домов в таких климатических районах обязательным является принятие мер против проникновения тепла поглощенной солнечной радиации через крышу в помещении верхнего этажа.

В настоящее время ведутся исследования использования технологий озеленения кровельных покры-

### ROOF PROTECTION DEVICE FOR BUILDINGS FOR SOUTHERN CLIMATIC REGIONS

#### Barabanova Tatiana Alekseevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Housing and Communal Complex; National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia;  
e-mail: barabanovata@mgsu.ru

#### Korol Roman Anatolevich

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies, Organizations, Economics of Construction and Real Estate Management; Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

#### Domozhilov Viktor Yurevich

Senior lecturer of the Department of Housing and Communal

Complex; National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

**Abstract:** The article considers constructive and technological solutions for the protection of roofing coverings of operated buildings in conditions of high natural and climatic temperature effects. Their use contributes to the creation of comfortable living conditions in the premises of the upper floors, both in summer and winter. During a long period of operation, there is a problem of maintaining the physical and mechanical characteristics of building envelopes in accordance with the established design requirements. Their changes can be caused by seasonal temperature fluctuations that occur, which entails a change in the parameters of the microclimate in the room. The device of protective structural and technological elements and measures prevents the violation of the conditions for normal operation of the premises of the upper floors of buildings.

тий [1-3]. Они относятся преимущественно к эксплуатируемым кровлям [4,5]. Чаще всего кровли с интегрированными зелеными насаждениями проектируются для зданий общественного назначения большой площади поверхности и возможности создания различных функциональных зон [6-8]. Это связано и с тем, что увеличение плотности застройки на урбанизированных территориях ограничивает требуемые санитарными нормами площади озеленения [9].

Существующая жилая застройка городов, имеющая многолетний опыт эксплуатации, аккумулировала различные способы защиты кровельных покрытий зданий различного назначения от температурно-влажностных воздействий [10-12].

Известно, что существующие способы защиты крыш и помещений верхних этажей от перегрева в летний период, такие как устройство водоналивных крыш, смачивание водой наружной поверхности кровель, вентилирование крыш наружным воздухом, окраска наружной поверхности крыш в светлые тона являются малоэффективными, так как снижают температуру нагрева облученной солнцем поверхности крыш максимум на 10, и неэкономичны. Для обеспечения достаточной солнцезащиты крыш необходимо создать условия исключения притока солнечной радиации к поверхности кровли.

## Материалы и методы

Анализ комплексных исследований и опыт практического применения различных способов солнцезащиты крыш свидетельствует, что наиболее простым и надежным средством является устройство над ними солнцезащитных экранов, которые обеспечивают вентиляцию подэкранного пространства при ветре любого направления, исключают перегрев крыш, позволяют применять теплоизоляцию крыши минимальной толщины, рассчитанную по зимним условиям эксплуатации. В этом легко убедиться, если проанализировать причины нагрева в летних условиях однослойного покрытия, а также распределение тепловых потоков в покрытии с солнцезащитным экраном и в крыше с «теплым» чердаком.

В квазистационарном режиме уравнение теплового баланса выражается следующим образом:

$$Q_{\text{п}} = (\tau_{\text{к}} - t_{\text{н}}) \cdot \alpha_{\text{н}} + (\tau_{\text{к}} - t_{\text{в}}) \cdot \frac{1}{R + R_{\text{в}}} \quad (1)$$

Откуда

$$\tau_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{п}} + t_{\text{н}} \cdot \alpha_{\text{н}} + t_{\text{в}} \cdot \frac{1}{R + R_{\text{в}}}}{\alpha_{\text{н}} \cdot \frac{1}{R + R_{\text{в}}}} \quad (2)$$

Расчетные параметры в уравнениях 1 и 2 принимаются по действующим нормативно-техническим источникам или фактическим данным.

При незначительном отличии  $t_{\text{в}}$  от  $t_{\text{н}}$  можно принять их равными и тогда из формулы (1) следует:

$$\tau_{\text{к}} - t_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{п}}}{\alpha_{\text{н}} \cdot \frac{1}{R + R_{\text{в}}}} \quad (3)$$

Расчеты по этой формуле хорошо согласуются с замерами, сделанными в августе в южных регионах России на однослойном комплексном покрытии с термическим сопротивлением  $R=2,2$  м<sup>2</sup>ч/ккал. Интенсивность суммарной солнечной радиации составляла 400 ккал/м<sup>2</sup>ч, температура наружного воздуха 37,2 С, температура поверхности кровли 57,1 С, скорость ветра в среднем 4 м/с.

Согласно формуле (2) для этих условий  $\tau_{\text{к}} - t_{\text{н}} = (400 \cdot 0,85) / (7,5 + 2,2 \cdot 4 + 1 / (2,2 + 0,133)) = 20,3$  С, что очень близко к измеренной разности  $57,1 - 37,2 = 19,9$  С.

При определении влияния перегрева однослойного покрытия на микроклимат помещения особое значение имеет разность между температурой потолка  $\tau_{\text{п}}$  и температурой воздуха в помещении верхнего этажа  $t_{\text{в}}$ , которую находят из условия равенства тепловых потоков через покрытие и от потолка в помещение:

$$Q'' = \frac{\tau_{\text{к}} - t_{\text{в}}}{R + R_{\text{в}}} = \frac{\tau_{\text{п}} - t_{\text{в}}}{R_{\text{в}}},$$

откуда

$$\tau_{\text{п}} - t_{\text{в}} = \frac{\tau_{\text{к}} - t_{\text{в}}}{R + R_{\text{в}}} \cdot R_{\text{в}} \quad (4)$$

При температуре воздуха в помещении выше и ниже температуры наружного воздуха (37,2 С) определяют по формуле (2), разность  $\tau_{\text{п}} - t_{\text{в}}$  – по формуле (4). Тепловой поток в помещении верхнего этажа рассчитывается по формуле:

$$Q = (\tau_{\text{п}} - t_{\text{в}}) \cdot \frac{1}{R_{\text{в}}}, \quad (5)$$

Результаты вычислений по формулам (2, 4, 5) при колебаниях температуры наружного воздуха выше и ниже 37,2 С с шагом в 3 С приведены в табл.1, из которой видно, что разность  $\tau_{\text{п}} - t_{\text{в}}$  положительна вне зависимости от колебаний температуры воздуха в

Таблица 1

**Параметры летнего температурного режима  
однослойного покрытия**

$t_{в}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{к}, ^\circ\text{C}$	для уменьшенного термического сопротивления				
		$\tau_{н-t_{в}}, ^\circ\text{C}$	$Q, \text{ккал/м}^2\text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$	$\tau_{к}, ^\circ\text{C}$	$Q, \text{ккал/м}^2\text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$	
28,2	57,3	1,7	12,75	55,8	4,9	36,75
31,2	57,4	1,5	11,25	56,1	4,4	33
34,2	57,4	1,3	9,75	56,3	3,9	29,25
37,2	57,5	1,2	9	56,5	3,4	25,5
40,2	57,6	1	7,5	56,7	2,9	21,75
43,2	57,7	0,8	6	57	2,4	18
46,2	57,8	0,7	5,25	57,2	1,9	14,25

помещении относительно наружного воздуха. Следовательно, постоянно имеет место поток тепла в помещение, причем его величина тем больше, чем ниже температура воздуха в помещении. Температура облученной поверхности кровли повышается с температурой воздуха в помещении, но весьма незначительно. Интенсивность теплового потока в помещении относительно небольшая, так как термическое сопротивление однослойного покрытия довольно большое – 2,2 м<sup>2</sup>ч С/ккал.

Для получения результатов, более близких к реальным, и учитывая, что в южных регионах расчетная зимняя температура по однодневке -6 С, сопротивление самого покрытия можно принять равным:

$$R = \frac{18 - (-6)}{7,5 \cdot 4} - 0,05 - 0,133 = 0,617 \frac{\text{м}^2\text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{ккал}}$$

Результаты такого же расчета, полученные для уменьшенного до 0,6 м<sup>2</sup>ч С/ккал термического сопротивления покрытия, приведены в таблице 1. Таким образом, в случае уменьшения термического сопротивления покрытия до величины, соответствующей зимним условиям в южных регионах, температура поверхности кровли летом понижается незначительно, но резко возрастают тепловые потоки в помещении верхнего этажа и величина их растет с понижением температуры воздуха в помещении.

Для усиления конвективного теплосъема с кровельной плиты необходимо увеличить интенсивность вентиляции пространства между кровлей и экраном. Только тогда направление теплового потока будет меняться – в конструкцию или наружу в зависимости от того, где температура воздуха выше – в жилых помещениях верхнего этажа или в подэкранном пространстве.

В этом случае тепловой поток через экран определяется по формуле (1), а количество тепла, уносимого движением воздуха в подэкранном пространстве, выражается следующим образом:

$$\frac{\tau_{к} - t_{ч}}{R_{з} + R_{в}} + \frac{t_{в} - t_{ч}}{R + R_{в} + R_{ч}} = V' \cdot 3600 \cdot \gamma \cdot 0,24 \cdot 2 / (t_{ч} - t_{н}) \quad (6)$$

Правая часть формулы (6) представляет собой количество тепла, выносимого за 1 ч с 1 м<sup>2</sup> подэкранного пространства при линейной скорости движения воздуха, (t<sub>ч</sub> - t<sub>н</sub>) – разность между средней температурой воздуха в подэкранном пространстве и температурой наружного воздуха. Средняя температура воздуха в подэкранном пространстве определяется заданной степенью комфорта в помещении верхнего этажа. В данном случае приняли, что средняя температура воздуха в подэкранном пространстве превышает температуру наружного воздуха на 5 °С (τ<sub>к</sub> - 42,2 °С). Получив значения по формулам (1) и (6), получаем температуру облученной солнцем кровли и расход воздуха.

Аналогично формуле (1) имеем:

$$Q_{п} = (\tau_{к} - t_{н}) \cdot \alpha_{н} + (\tau_{к} - t_{н}) \cdot \frac{1}{R_{з} + R_{ч}} = 340 = (\tau_{к} - 37,2) \cdot 16,3 + \frac{-39,7}{0,023 + 0,067} \quad (7)$$

Откуда τ<sub>к</sub> = 50,6 С.

Расход воздуха, приходящегося на 1 м<sup>2</sup> крыши, при изменении температуры воздуха в помещении от 28,2 до 46,2 С со ступенью 3 С определяем по формуле (6):

$$\frac{50,6 - 39,7}{0,09} + \frac{t_{в} - 39,7}{0,8} = M \cdot 0,24 \cdot 2 (t_{ч} - t_{н})$$

Считая ширину жилых зданий в среднем 12 м, определяем объем воздуха (V), который необходимо пропустить через 1 пог.м фасада дома в 1 сек:

$$\Omega = \frac{M \cdot 12}{3600 \cdot \gamma_{в}} \quad (8)$$

При скорости движения воздуха в самом узком сечении 1 м/сек размер этого сечения должен быть в пределах от 0,26 до 0,315 м<sup>2</sup> (табл.2).

В случае экранирования крыши тепловые потоки в помещение (+) или из помещения (-) в подэкранное пространство (табл.3) определяются по формуле:

$$Q = \frac{t_{ч} - t_{в}}{R + R_{в} + R_{ч}} \quad (9)$$

Если температура воздуха в помещении отличается от температуры наружного воздуха в пределах ± 3 С, то

Таблица 2

**Масса и объем продуваемого воздуха для обеспечения комфортных условий в помещении**

$t_{в}, C$	$M, кг/м^2ч$	$\Omega, м^3/сек 12м$
28,2	88,8	0,26
31,2	92	0,269
34,2	95,1	0,279
37,2	98,2	0,288
4,2	101,4	0,297
43,2	104,5	0,306
46,2	107,6	0,315

Таблица 3

**Значения Q при разных температурах воздуха в помещениях**

$t_{в}, C$	20,2	31,2	34,2	37,2	40,2	43,2	46,2
Q, ккал/ ( $м^2 \cdot ч$ )	+14,4	+10,6	+6,9	+3,1	-0,6	-4,4	-8,1

при экранировании покрытия в 1 ч. в помещение проникает от +6,9 ккал/м<sup>2</sup>ч до -0,6 ккал/м<sup>2</sup>ч тепла. При колебаниях температуры воздуха в тех же пределах через

неэкранированную крышу с небольшим термическим сопротивлением 0,617 м<sup>2</sup>ч/ккал в помещение проникает тепловой поток от 21,75 до 29,25 ккал/м<sup>2</sup>ч, при термическом сопротивлении 2,2 м<sup>2</sup>ч/ккал тепловой поток в помещение составляет 7,5-9,75 ккал/м<sup>2</sup>ч.

**Заключение**

Анализ результатов выполненных расчетов и практика применения показали, что устройство сплошного экрана при достаточной вентиляции подэкранного пространства не только резко сокращает поступление тепла в помещение, но при температуре воздуха в жилых помещениях верхнего этажа выше температуры наружного воздуха может привести к возникновению обратного теплового потока — из помещения в подэкранное пространство.

Таким образом, чтобы избежать перегрева крыши и жилых помещений верхнего этажа эксплуатируемого дома, необходимо конструктивно предусмотреть охлаждение крыши путем естественной охлаждающей вентиляции наружным воздухом и максимальное отражение падающей солнечной радиации на кровельное ограждение.

**Литература**

Технологии экостроительства эксплуатируемых кровельных покрытий [Текст] / Король Е.А., Шушунова Н.С. // Научное обозрение. 2015. № 8. С. 42-45.

Реконструкция предприятий текстильной промышленности с использованием кровельных покрытий с системами озеленения [Текст] / Король Е.А., Киселев И.Я., Шушунова Н.С. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 3 (375). С. 294-300.

Современные технологии реконструкции кровельных покрытий в экостроительстве [Текст] / Король Е.А., Шушунова Н.С. // Строительство и реконструкция. 2016. № 3 (65). С. 114-118.

Организационно-технологическое моделирование процессов устройства кровельных покрытий с модульной системой озеленения [Текст] / Король Е.А., Шушунова Н.С. // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 2 (125). С. 250-261.

Исследование технологических параметров возведения кровельных систем с озеленением методом функционального моделирования [Текст] / Король Е.А., Шушунова Н.С. // В сборнике: Систематехника строительства. Киберфизические строительные системы - 2019. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 299-302. Сравнительная технологичность устройства кровельных покрытий с системами озеленения [Текст] / Король Е.А., Шушунова Н.С. // Строительство: наука и образование. 2020. Т. 10. № 1. С. 4. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.1.4

Estimation of modular green roof systems installation using the method of chronometry measurements / Korol E.A., Shushunova N.S. // Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural

Analysis 2019, MMSA 2019. 2020. С. 012030. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012030

Особенности устройства различных вариантов кровельных покрытий с системами озеленения [Текст] / Король Е.А., Шушунова Н.С. // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 2. С. 124-129.

Organizational and technological procuring of roofing devices with greening systems / Korol E.A., Shushunova N.S., Mayilyan A.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference «FarEastCon 2019». 2020. С. 032059. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032059

Развитие теории и методологии организационно-технологического моделирования строительства зданий с зелёными кровлями [Текст] / Король Е.А., Шушунова Н.С. // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году. Сборник научных трудов РААСН. Российская академия архитектуры и строительных наук. Москва, 2020. С. 305-313. Исследование технологических параметров устройства и ремонта оснований плоских кровельных покрытий [Текст] / Король Е.А., Садковский М.В. // Строительство и архитектура. 2021. Т. 9. № 3. С. 31-35. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-3-31-35

Modular green roofs for the sustainability of the built environment: the installation process / Shushunova N.S., Korol E.A., Vatin N.I. // Sustainability. 2021. Т. 13. № 24. DOI: 10.3390/su132413749